

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

## BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ SLOŽITÝCH TVARŮ

## CONTACTLESS MEASUREMENT OF COMPLEX SHAPES

Student:

Radek Hrubý

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba CSc.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## Zadání bakalářské práce

Student: **Radek Hrubý**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: **Bezkontaktní měření složitých tvarů**  
**Contactless Measurement of Complex Shapes**

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika měření složitých součástí.
3. Návrh nového řešení.
4. Diskuze experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábani*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J. *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, K.; HAVRILA, M.; MARCINCIN-NOVÁK, J.; MÁDL, J.; ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě dne: 11. 5. 2012

  
.....  
Radek Hrubý

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, který byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne: 11. 5. 2012

  
.....  
Radek Hrubý

Radek Hrubý

Palonín 117

Loštice 789 83

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HRUBÝ, R. *Bezkontaktní měření složitých tvarů: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012, 50 s. Vedoucí práce: Doc. Ing. Vladimír Vrba CSc.

Bakalářská práce se zabývá možnostmi zefektivnění práce při rozměrové kontrole ve společnosti Hella Autotechnik s. r. o. pomocí měřicího systému Atos II. Popisuje stávající stav při kontrole rozměrové kvality vyráběných dílů pomocí 3D kontaktního měřicího zařízení Zeiss Prismo 7 a nové možnosti měření pomocí optického digitálního systému bezkontaktního měření Atos II. Porovnává dosažené výsledky obou způsobů měření s ohledem na časovou a finanční úsporu při vyhodnocování kvality dílu a při vyhodnocování kvality referenčního vzorku.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

HRUBÝ, R. *Contactless Measurement of Complex Shapes: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2012, 50 p. Thesis head: Doc. Ing. Vladimír Vrba CSc.

Bachelor thesis is looking into the possibilities of making work more efficient during the size control in Hella Autotechnik s.r.o. company using a measuring system Atos II. It is describing a current status during the control of size quality produced parts using 3D contact measuring equipment Zeiss Prismo 7 and new possibilities of measuring using an optical digital system non-contact measuring Atos II. It is comparing reached results both ways of measuring considering the time and financial savings during the part quality evaluation and during the quality evaluation reference sample.

## Obsah

Seznam použitých značek a symbolů .....	9
Úvod .....	11
1   Obecná charakteristika daného problému .....	12
1.1   Hella ve světě .....	13
1.2   Hella Autotechnik s.r.o. Mohelnice .....	13
1.3   Vývoj .....	15
1.4   Výroba .....	16
1.4.1   Předmontáž .....	16
1.4.2   Montáž .....	17
2   Problematika měření složitých součástí .....	18
2.1   Měření ve strojírenství .....	18
2.1.1   Vývoj měřicí techniky .....	18
2.2   Bezkontaktní metody měření .....	19
2.2.1   Měření se zadním osvětlením .....	20
2.2.2   Měření triangulační metodou .....	20
2.3   Kontaktní metody měření .....	21
2.3.1   Systémy spínacího typu .....	21
2.3.2   Systémy skenovacího typu .....	22
2.4   Představení oddělení MTZ .....	23
2.4.1   Vybavení měřicí technikou na oddělení MTZ .....	23
2.4.2   Měřicí zařízení pro rozměrovou kontrolu .....	24
3   Představení měřících zařízení Atos II a Prismo 7 .....	25
3.1   Optický digitální skener Atos II .....	25
3.1.1   Představení systému Atos II .....	25
3.1.2   Popis principu měření .....	25

3.1.3	Přednosti použití systému Atos II .....	26
3.1.4	Základní rozdělení systému Atos .....	26
3.1.5	Příslušenství měřicího systému Atos II .....	26
3.1.6	Aplikace systému Atos II v praxi .....	27
3.2	Souřadnicový měřicí stroj Prismo 7 .....	29
3.2.1	Představení měřicího stroje Prismo 7 .....	29
3.2.2	Popis principu měření .....	30
3.2.3	Kalibrace snímacích systémů .....	30
3.2.4	Softwarové vybavení souřadnicového měřicího stroje Prismo 7 .....	31
3.2.5	Aplikace souřadnicových měřicích strojů v praxi .....	32
4	Návrh nového řešení .....	33
4.1	Parametry definující základní kritéria pro následné porovnání .....	33
4.2	Současné měření dílů na SMS Prismo 7 .....	33
4.2.1	Příprava měření reflektoru H7 č. d. 191.887 - 01 .....	34
4.2.2	Samotné měření reflektoru H7 č. d. 191.887 - 01 .....	35
4.2.3	Měření referenčních vzorků reflektoru H7 č. d. 191.887 – 01.....	35
4.2.4	Příprava měření krycího skla č. d. 187.036 - 02 .....	35
4.2.5	Samotné měření krycího skla č. d. 187.036 - 02 .....	36
4.2.6	Měření referenčních vzorků krycího skla č. d. 187.036 - 02 .....	37
4.2.7	Parametr přesnosti měření SMS Prismo 7 .....	37
4.2.8	Parametr variability měření SMS Prismo 7 .....	37
4.3	Návrh nového měření dílů optickým zařízením Atos II .....	38
4.3.1	Příprava měření reflektoru H7 č. d. 191.887 - 01 .....	38
4.3.2	Samotné měření reflektoru H7 č. d. 191.887 - 01 .....	39
4.3.3	Měření referenčních vzorků reflektoru H7 č. d. 191.887 – 01.....	39
4.3.4	Příprava měření krycího skla č. d. 187.036 - 02 .....	39
4.3.5	Samotné měření krycího skla č. d. 187.036 – 02 .....	40

4.3.6	Měření referenčních vzorků krycího skla č. d. 187.036 – 02 .....	40
4.3.7	Parametr přesnosti měření zařízení Atos II.....	40
4.3.8	Parametr variability měření zařízení Atos II.....	41
5	Diskuze experimentů.....	42
5.1	Přínos systému Atos II u měření reflektoru č. d. 191.887 - 01 .....	42
5.1.1	Časová úspora spojená s vyhodnocením kvality dílu.....	42
5.1.2	Finanční úspora spojená s vyhodnocením kvality dílu.....	43
5.1.3	Časová úspora spojená s vyhodnocením kvality referenčního vzorku.....	43
5.1.4	Finanční úspora spojená s vyhodnocením kvality referenčního vzorku.....	44
5.2	Přínos systému Atos II u měření krycího skla č. d. 187.036 - 02 .....	44
5.2.1	Časová úspora spojená s vyhodnocením kvality dílu.....	45
5.2.2	Finanční úspora spojená s vyhodnocením kvality dílu.....	45
5.2.3	Časová úspora spojená s vyhodnocením kvality referenčního vzorku.....	46
5.2.4	Finanční úspora spojená s vyhodnocením kvality referenčního vzorku.....	46
6	Technicko - ekonomické zhodnocení .....	47
6.1	Technické zhodnocení .....	47
6.2	Ekonomické zhodnocení.....	47
	Závěr .....	48
	Seznam použité literatury .....	49
	Seznam příloh.....	51



## Seznam použitých značek a symbolů

2D	je zkratka výrazu „dvoudimenzionální“, označuje prostředí, které je možné popsat dvěma rozměry.
3D	je zkratka výrazu „trojdimenzionální“, označuje prostředí, které je možné popsat třemi rozměry.
CAD	Computer Aided Design - 2D a 3D počítačové projektování.
CAE	Computer Aided Engineering - počítačem podporované konstruování - zkratka označující software (nebo obor) pro technické výpočty a navrhování.
CAM	Computer Aided Manufacturing - použití počítačového software pro programování výrobních CNC strojů a řízení výrobního procesu.
CCD	Charge-coupled device - je elektronická součástka používaná pro snímání obrazové informace.
CNC	Computer Numerical Control - řízení obráběcího stroje počítačem, resp. programem.
IGES	International Graphics Exchange Specification - výměnný souborový formát pro CAD data používaný ve strojírenství.
ISO	International Standard Organization – Mezinárodní standardizační organizace.
MTZ	Mess und Test Zentrum – Meřící a testovací centrum.
N	Newton – jednotka síly, rozměr v základních jednotkách $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
RPS	Reference point systém – ustavení měřeného dílu pomocí referenčních bodů.
SMS	Souřadnicový měřící stroj.

STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data - výměnný souborový formát pro 3D CAD data používaný ve strojírenství. Specifikován americkým institutem NIST, ISO 10303.
STL	Stereolithographie - při převodu dat pomocí tohoto formátu je objemový model nahrazen ploškami jeho povrchu.
VDA	Verband der Deutsche Automobilhersteller - formát pro převod 3D volně modelovaných ploch
VDI/VDE	Německá technická norma.
apod.	a podobně
mm	Milimetr - je délková jednotka o velikosti $10^{-3}$ m.
nrmin	normominuty
popř.	popřípadě
tzv.	tak zvaný

## Úvod

Pro moderní firmu v dnešní společnosti je jedním z nejzákladnějších atributů pro řízení, stanovení politiky jakosti. Na tomto stanovení závisí rozvoj a prosperita společnosti, která se také odvíjí na jejím působení na tuzemských a zahraničních trzích. Proto se společnost Hella Autotechnik s. r. o. zavazuje ke stálému rozvoji a rozšiřování, aby mohla svým zákazníkům poskytovat výrobky ve stanovené kvalitě, výkonnosti, spolehlivosti a šetrností vůči životnímu prostředí. Systém managementu vytváří nutné předpoklady a metodiku pro realizaci náročných cílů v oblasti kvality. Podnik uvolňuje značné finanční prostředky na nastavení a udržení vysoké kvality výrobku po celou dobu jeho výrobního cyklu.[5] Výsledkem je trvalá spokojenost všech zákazníků a konkurenceschopnost.

Ve společnosti Hella Autotechnik s. r. o. se jakostí výrobků zabývá oddělení MTZ, jehož součástí je i metrologie. Pod dané oddělení spadají mimo jiné i měřicí souřadnicové přístroje a optický skenovací přístroj. Provádí se zde samozřejmě i kalibrace mnoha druhů měřidel a další činnosti související s výrobním procesem podniku.

V této práci jsem se zaměřil na vhodnost využití optického měřicího systému Atos II pro měření složitých tvarových ploch, která se standardně provádí na souřadnicových měřicích strojích. Na začátku práce je popsána obecná charakteristika daného problému, dále je zde uvedena historie společnosti Hella až po její současný stav, popis strojního vybavení v podniku a náhled do produkce této firmy. Je zde také krátce popsáno oddělení MTZ, které se zabývá měřeními a testováním výrobků. Dále je v této práci uveden současný stav vybavení měřicí technikou na tomto oddělení. Následně je zde uvedena obecná problematika měření složitých tvarů. Práce také obsahuje popis hlavních rozdílů mezi kontaktním měřením na souřadnicovém měřicím stroji a bezkontaktním měřením na optickém skenovacím přístroji. V experimentální části jsem se hlavně zaměřil na vhodnost použití bezkontaktního způsobu měření složitých tvarů, s ohledem na rychlost přípravy měření, rychlost samotného měření, rychlost měření referenčního vzorku, přesnost a variabilitu měření oproti kontaktnímu způsobu měření. Metody měření jsou aplikovány na určité díly, které zaujímají nemalé procento z výrobního programu společnosti. V závěru práce je uvedeno technicko-ekonomické zhodnocení celého projektu.

## 1 Obecná charakteristika daného problému

Především v automobilovém průmyslu se zvyšují požadavky na kvalitu a zdůrazňuje se snižování, respektive minimalizace odchylek rozměrů a proto je kladena stále vyšší pozornost na zdokonalování metod měření složitých tvarů a měřicí techniky.

Ve výrobě světlometů a zadních skupinových svítilen, kterou se zabývá firma Hella Autotechnik s. r. o. je jedním z nejsledovanějších parametrů kvality, rozměrová shoda dílu se zákaznickým výkresem. Tato shodnost dílů je nejčastěji posuzována na souřadnicových měřicích strojích Prismo 7 a Contura G2 od společnosti Carl Zeiss, které patří mezi nejpresnější měřicí zařízení ve společnosti. Vysoká přesnost souřadnicových strojů, je však vykoupena jejich nízkou efektivností, která i při nepřetržitém provozu těchto měřicích strojů nedokáže naplnit cíle společnosti.

S navyšujícím se počtem nových projektů, které jsou stále složitější a obsahují více dílů, a ze zcela vyčerpaných kapacitních důvodů na souřadnicových strojích, bylo vedením společnosti rozhodnuto o zakoupení nového měřicího zařízení. Nové měřicí zařízení má doplňovat dva souřadnicové měřicí stroje zakoupené již v dřívějších letech a optický měřicí mikroskop. Musí vyplňovat mezery při měření rozměrově velkých dílů tam, kde použití souřadnicových strojů je příliš časově náročné nebo prakticky nemožné. Dále musí dokázat měřit měkké a poddajné díly, musí vykazovat vysoký stupeň mobility a hlavně svojí rychlostí měření má zefektivnit pracovní činnost měřicích techniků na oddělení MTZ. Z mnoha zajímavých nabídek od různých prodejců, bylo nakonec společností Hella Autotechnik s.r.o. vybráno optické měřicí zařízení Atos II od německé firmy GOM.

Cílem bakalářské práce je rozbor určitých parametrů měření na stávajícím souřadnicovém měřicím stroji Prismo 7 a návrh nového efektivnějšího způsobu měření optickým zařízením Atos II. Stávající způsob měření kontaktním způsobem je zdlouhavý, neefektivní a hlavně ekonomicky nevýhodný. Přejít na bezkontaktní způsob měření optickým skenerem má za úkol měření zrychlit a zefektivnit.

## 1.1 Hella ve světě

Firma Hella byla založena v roce 1899 ve městě Lippstadt jako rodinný podnik na výrobu světilen pro jízdní kola, vozíky a automobily. Nyní je jedním z 50 špičkových světových dodavatelů pro automobilový průmysl a patří mezi 100 největších německých společností. Po celém světě má společnost Hella přibližně 25.000 zaměstnanců, v 18 zemích. Asi 3800 z nich pracuje ve výzkumu a vývoji. Roční obrat koncernu se pohybuje okolo 3,5 miliard €. [6]

### Přehled hlavních produktů:

- světlomety
- vnitřní svítidly
- signální světla
- světelná elektronika
- elektronika v karoserii
- asistenční systémy řidiče
- komponenty
- osvětlení [6]

## 1.2 Hella Autotechnik s.r.o. Mohelnice

Firma Hella Autotechnik, s.r.o. Mohelnice byla založena v roce 1992 jako stoprocentní dceřiná společnost německého koncernu Hella KGaA Hueck & Co. Strategickým rozhodnutím vedení HKG bylo následovat firmu Volkswagen do České republiky a založit zde závod na výrobu světelné techniky pro nové typy vozů Škoda Auto, a.s. Tento strategický cíl byl realizován v průběhu let 1992 - 1994, kdy byl vystavěn závod v Mohelnici a zavedena výroba světlometů, zadních světilen, blinkrů a ošťikovačů světlometů pro vozy Škoda Felicia. Úspěšné zvládnutí tohoto projektu bylo odrazovým můstkem pro získání dalších zakázek pro zákazníky z celé automobilové branže. [5]

Od roku 2001 se Hella Autotechnik, s.r.o. podílela spolu s mateřskou firmou stále větší mírou na procesu vývoje výrobků. Výsledkem posouzení schopností mohelnické společnosti z hlediska vývoje výrobků bylo rozhodnutí o zásadní reorganizaci dílčího vývojového střediska Helly Autotechnik, s.r.o. a jeho přeměny na ucelené vývojové centrum za účelem poskytnutí komplexního servisu současným i budoucím zákazníkům. [5]

Světlomety vyrobené v Mohelnici mohou lidé vidět na automobilech značek Volkswagen, Ford, Jaguar, Land Rover, Audi, Nissan, Mitsubishi, Volvo, Scania a dalších.

V současné době pracuje ve společnosti Hella Autotechnik s.r.o 1571 zaměstnanců, ve dvou závodech (obr. 1.1 a, b), na zastavěné ploše přibližně 43 195 m<sup>2</sup>. [5]



a)



b)

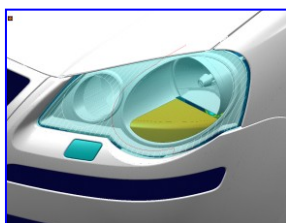
**Obr. 1.1** - Výrobní závody firmy Hella Autotechnik s. r. o. [5]

(a – výrobní a vývojový závod, b – závod na vývoj a výrobu montážních linek)

### 1.3 Vývoj

Osvětlení nově vyvíjených aut musí splňovat stále náročnější provozní podmínky a musí se vejít do stále menšího prostoru. Také čas pro vývoj se postupně zkracuje a vývoj je stále víc založen na počítačových modelech a výpočtech. Světlomety a svítlny jsou výrazným stylistickým prvkem vozu a tomu odpovídá pozornost, kterou jim věnují designéři. Všechny tyto vlivy a faktory dělají ze světlometů výrobek, který je zajímavý pro odborníky z různých oborů. Společnost Hella Autotechnik s. r. o. disponuje nejen moderním návrhovým systémem pro konstrukci výrobků, ale i nejmodernějšími technologiemi používanými v oblasti vývoje světelné techniky pro automobilový průmysl. Při vývoji a konstrukci světlometů je používán software Catia a Autocad v nejnovějších aplikacích. Během vývoje světlometů se uplatní zejména lidé na těchto pozicích: [5]

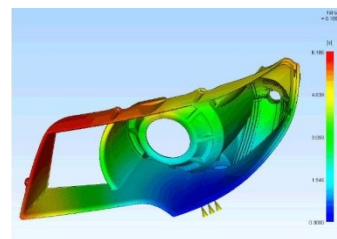
- konstruktéři
  - řeší koncepční návrh světlometů i detailní mechanickou konstrukci.
  - musí znát zásady konstrukce plastových dílů
- optičtí inženýři a fyzici
  - navrhují geometrii a plochy optické soustavy
  - definují optické vlastnosti ploch
  - počítají rozložení světla na zkušební stěně nebo vozovce
- elektronici
  - řeší vývoj softwaru řídicích jednotek světlometů
  - provádějí simulace elektrických obvodů
- CAE specialisté
  - provádějí pevnostní, teplotní, a kinematické simulace
  - simulují plnění dutin lisovacích forem [5]



a)



b)



c)

**Obr. 1.2** - Ukázka činností jednotlivých vývojových pracovišť [5]

(a – objemový model - Catia V5, b – řídicí jednotka světlometu, c – teplotní simulace)

## 1.4 Výroba

Hlavní výrobní program skupiny Hella - Česká republika spočívá ve vývoji a výrobě světlometů, zadních skupinových světilen a mlhovek pro osobní a nákladní automobily renomovaných značek jako jsou např. Volkswagen, Škoda, Scania, Ford, Vaz, Audi, Neoplan a další. Společnost vyrábí pro osobní, nákladní automobily a autobusy také speciální doplňky jako jsou brzdové světilny, teleskopické ostřikovače, vnitřní osvětlení vozů apod. [5]

**Výrobní program podniku je rozdělen na dvě části:**

- předmontáž
- montáž

### 1.4.1 Předmontáž

Hella Autotechnik s. r. o. disponuje nejnovějšími technologiemi používanými v oblasti světelné techniky pro automobilový průmysl. Jednotlivé výlisky vyrobené na předmontážních pracovištích prochází následujícími procesy: [5]

- lisování – duroplastů, termoplastů a plastových krycích skel
- lakování – duroplastů a krycích skel
- pokovení – reflektorů a jiných prvků



a)



b)



c)

**Obr. 1.3 - Ukázka pracovišť předmontáže [5]**

(a – lisovací kloubový stroj Demag 650, b - lakování pomocí ABB robota,  
c – pokovovací stroj Stokes)



### 1.4.2 Montáž

V oblasti montážních technologií byla uvedena do provozu sloučená montážní linka na výrobu světlometů v novém koncepčním řešení, které se stalo součástí standardu koncernového modulového systému. Toto řešení bylo velice rychle uplatněno i v ostatních projektech, což je výsledek velmi úspěšné práce oddělení vývoje montážních linek. V podniku je přibližně 14 montážních pracovišť, na kterých se kompletují výrobky společnosti. Tyto pracoviště jsou osazeny polohovacími roboty pro zrychlení a zpřesnění výrobního procesu. [5]



a)



b)

**Obr. 1.4** - Montážní operace [5]

(a – nanášení tmelu pomocí ABB robota, b – lepení skla v interním přípravku)

## **2 Problematika měření složitých součástí**

### **2.1 Měření ve strojírenství**

Hlavním hnacím motorem pokroku v provozní strojírenské metrologii jsou stále vyšší požadavky zejména automobilového průmyslu, který po subdodavatelích požaduje enormní nárůst technické úrovně kontroly při minimalizaci cen. Vedle zavádění nových a přesnějších měřicích metod jsou s ještě větší intenzitou řešeny i cenové otázky. Dodavatelé jsou v této situaci nuceni investovat svůj finanční kapitál do nových produktivních technologií s ohledem na rychlost vyhodnocení stavu kvality, přesnost, úsporu lidského potenciálu, sekvenční nasazení v procesu rozpracované výroby a mnohdy i s ohledem na dostupnost možného nasazení u těžko dostupných výrobních aplikací. Těmto přísným podmínkám se musí vedle dodavatelů autodílů přizpůsobit i výrobci měřicí techniky. Snahou výrobců je tedy připravit a nabídnout ucelený měřicí systém, který bude zároveň splňovat jak požadavky na technickou úroveň (hodnocené parametry, přesnost atd.), tak i praktické požadavky uživatelů. Závěrem je nutno podotknout, že v oblasti strojírenství je použití měřicí techniky nedílnou součástí každodenního zápasu o udržení kvality výroby součástí, strojů a jejich částí a příslušenství. [7]

#### **2.1.1 Vývoj měřicí techniky**

Vývoj měření a hodnocení povrchové struktury zaznamenaly v uplynulých letech výrazný kvalitativní technický pokrok. Výrobci měřicí techniky aktivně reagovali na nové požadavky na kvalitu funkčních povrchů součástí z progresivních konstrukčních materiálů spojenou s vysokou přesností rozměrů, tvaru a vzájemné polohy často malých funkčních ploch. Vývoj měřicí techniky je výrazně ovlivňován i technickými potřebami uživatelů a jejich ekonomickými možnostmi. Vzhledem k tomu, že se pro kontrolu struktury povrchu používají jednoúčelová měřicí zařízení, je zřejmé, že se jejich výrobci spolupodílejí na zvyšování kvalitativní úrovně metrologie daného zaměření. Výsledkem komplexního vývoje je nejen zvyšování technické úrovně stávajících měřicích a vyhodnocovacích prostředků pro strukturu povrchu, ale i příprava nových metodik a měřicích systémů. Výrobci měřicí techniky nabízejí široký sortiment přístrojů, které pokrývají celou aplikační oblast - od jednoduchých dílenských měřidel až po měřicí systémy určené pro laboratorní měření a analýzy, jež vyhodnocují desítky parametrů měření základního profilu, drsnosti povrchu, vlnitosti, tvaru, příp. i rozměrů povrchu. [8]

Technické parametry měřicích přístrojů na současném trhu představují výsledky vývoje zaměřeného na řešení následujících aspektů měření a hodnocení struktury povrchu. Zvyšování kvality měřicí techniky (přesnosti, rozsahu měření apod.) obecně znamená i zvyšování její ceny. Přitom ne všechny špičkové vlastnosti přístrojů jsou využitelné v kontrole každé strojírenské nebo výrobní oblasti. Ukazuje se proto možnost připravit na základě moderního osvědčeného modelu měřicího zařízení několik variantních provedení, která budou technickou specifikací přesně splňovat požadavky kontroly v dané oblasti a která budou ekonomicky výhodná, příp. dostupná pro uživatele. Jde o cenově příznivou nabídku měřicího prostředku na současné špičkové úrovni pro cílenou kontrolu speciální výroby. [8]

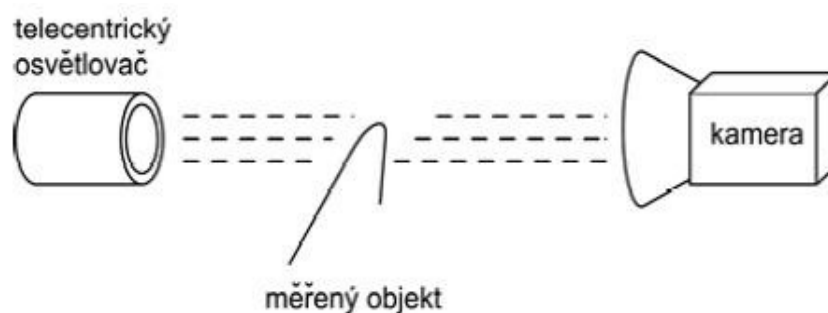
## **2.2 Bezkontaktní metody měření**

Standardní kontaktní měření struktury povrchu jsou v souvislosti s vývojem nových konstrukčních materiálů a výrobních technologií stále častěji nahrazována nebo doplňována bezkontaktními metodami snímání profilu povrchu. Při měření struktury povrchu stejného vzorku dotykovým a bezdotykovým způsobem dostaneme různé výsledky. Je to dáno rozdílnou charakteristikou měřicí metody. [9]

Základním rozdílem mezi oběma metodami je šířka pásma dat. Tento případ je důležitý, při stanovování povrchu struktury matematickou metodou. Mnoho optických metod měření je založeno na zaostřování bodu na kontrolovaném povrchu. Struktura povrchu je odvozována z "průměrného" signálu, získaného z plochy zaostřeného bodu. V porovnání s dotykovou metodou je výsledným efektem uvedeného procesu "uhlazení" povrchu, které má za následek zmenšení šířky pásma dat pro zpracování. Problémem použití optických měřicích přístrojů je to, že dochází ke ztrátě dat, a to v hraničních oblastech nebo v místech náhlých a rychlých změn tvaru profilu povrchu. V těchto místech se nemusí světelný paprsek správně odrážet zpět do detektoru a následně nemusí být hodnoty dat zaznamenány. Software, kterým je přístroj vybaven, tato data většinou vyloučí, zpravidla s využitím interpolace okolních dat. Systémy pro přesná bezdotyková měření a automatickou vizuální kontrolou kvality nalézají uplatnění ve všech oblastech výroby. Nejeфективnější je jejich nasazení ve výrobě produkující velké objemy výrobků, např. bižuterie, plastových výlisků a podobně. Své uplatnění nalézají systémy také v oblastech s nároky na přesnost a kvalitu výroby. Významnou oblastí je měření materiálů, které se dotykem deformují či které nelze ani jinými metodami změřit, např. v gumárenském průmyslu. Nejčastěji nasazované optické metody pro měření v průmyslu jsou metoda měření se zadním osvětlením a triangulační metoda měření. [9]

### 2.2.1 Měření se zadním osvětlením

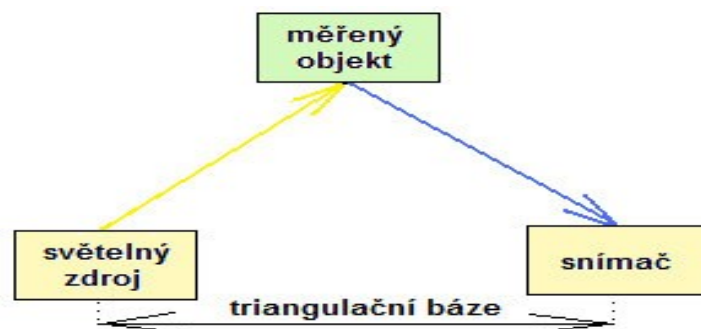
Používá se pro přesné měření obrysů snímáných objektů, které se vejdou do zorného pole kamery. Po nasnímání obrázků v zadním osvětlení je nalezena jejich silueta a automaticky rozdělena na geometrická primitiva jako jsou úsečky a oblouky. Délky jednotlivých úseků spolu s úhly mezi ploškami jsou zobrazeny na obrazovce přímo na naměřeném profilu. Pro měření součástek větších se vybavuje měřicí zařízení pojezdem. Rozměry je možné porovnávat se CAD výkresy. [12]



**Obr. 2.1** - Princip měření se zadním osvětlením [12]

### 2.2.2 Měření triangulační metodou

Používá se pro měření rozměrů výrobků ve 3D. Při této technice se na předmět promítá předem definovaný světelný vzor, který nám poslouží k získání informací o prostorových souřadnicích bodů snímáné plochy. Promítaný vzor neboli mřížka může obsahovat různé pomocné značky nebo také pomocný kód, sloužící k pozdější jednodušší identifikaci jednotlivých polí mřížky. Předmět původně pravidelnou mřížku deformuje, a tak umožňuje z deformace vyčíst hodnotu souřadnic. Rozměry lze porovnávat s CAD výkresy. Přesnost detekce závisí nejen na přesnosti snímající kamery, ale i na hustotě a kontrastu promítané mřížky. Klíčovým bodem pro realizaci vizuálního systému je správný návrh optické cesty. Každý systém je originální, byť z hlediska uživatele může jít zdánlivě o stejný systém. Pro vyhodnocování obrazu se nejčastěji používají běžné PC. Poskytují vysoký výpočetní výkon za zlomek ceny jednoúčelových systémů a zaručují zákazníkovi možnost pozdějšího rozšíření či modifikace systému. [10]



**Obr. 2.2** - Triangulační trojúhelník [15]

## 2.3 Kontaktní metody měření

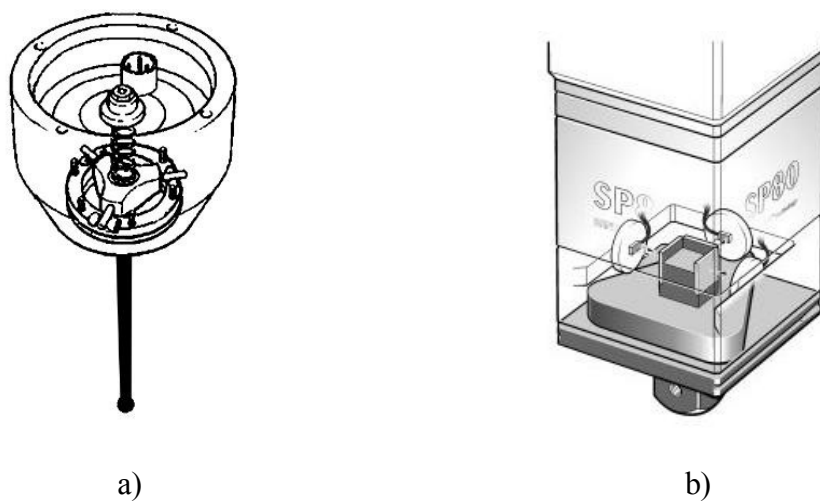
V tradičním strojírenském prostředí mají kontaktní metody měření proti optickým zřejmou výhodu ve větší toleranci vůči znečištění. Snímací hrot odsune malé nečistoty nebo mu nevadí olejová vrstva. Proto je zatím ve strojírenské praxi dávána přednost dotykovým měřicím přístrojům. Mimo jiné i proto, že normované parametry struktury povrchu zatím nepočítají se ztracenými daty nebo proměnnou velikostí opticky snímaného bodu. Nevýhodou kontaktního měření je jeho časová náročnost na ustavení dílu a přípravu měření. To se projeví zejména při nasazení v kontrolních procesech, kde je velmi důležitá rychlost procesu a relativní měření je prakticky významnější než absolutní. Je třeba zdůraznit, že existuje řada povrchů, které nelze dotykovým měřidlem vůbec měřit a u nichž musí být použita bezdotyková metoda. Kontaktní měření je uskutečněno dotykovými snímači, které jsou ve tvaru koule, kuželu, válce, apod. Řídící počítač zaznamená v okamžiku dotyku souřadnice sejmutého bodu a provede výpočet požadovaných geometrických veličin. Dotykové snímače jsou upnuty v upínacích hlavách souřadnicových měřicích strojů. Tyto upínací hlavy rozdělujeme na hlavy se systémem spínacího typu a se systémem skenovacího typu. [9]

### 2.3.1 Systémy spínacího typu

Spínací hlava funguje tak, že v okamžiku dotyku dojde k rozepnutí jednoho ze tří kontaktů, na kterých je upevněn snímač, tím je vyslán signál k zastavení pohybu, odečtení souřadnic a současně se ozve zvukový signál. Systémy pracují v dynamickém režimu, pomocí nich získáváme diskrétní hodnoty, není možné spojité snímání souřadnic tzv. scanning. [4]

### 2.3.2 Systémy skenovacího typu

Je konstrukčně složitější oproti spínacím hlavám. Skenovací hlava je osazena paralelogramy ve všech třech osách. Každý paralelogram má vlastní indukční odměřovací systém a generátor přitlačné síly. Princip měření pak spočívá v tom, že hlava přitlačuje snímač k měřenému povrchu a v reálném čase odměřuje svoji aktuální polohu. Tyto informace potom řídicí systém vyhodnocuje a kombinuje s aktuální polohou stroje a tím získá údaje o poloze měřicího bodu. [4]



**Obr. 2.3** - Měřící dotykové hlavy [16]

(a – spínací hlava, b – skenovací hlava)

## 2.4 Představení oddělení MTZ

Oddělení MTZ se zabývá testováním a měřením veškerých produktů koncernu Hella. Jedná se jak o prototypové díly, tak i o díly, které jsou již ve výrobním procesu. V současné době pracuje na tomto oddělení 10 zaměstnanců, kteří jsou rozdělení do čtyř skupin podle druhu zkoušky vykonávané na výrobku.

- mechanické zkoušky
  - vibrační zkoušky
  - tahové a tlakové zkoušky
  - zkoušky těsnosti
  - korozní zkoušky
- teplotní zkoušky
  - měření teploty na určených místech výrobku pomocí čidel
  - zkoušky teplotní odolnosti
  - klimatické zkoušky
- elektronické zkoušky
  - zkoušky elektrických obvodů
  - zkoušky elektrických modulů
  - zkoušky řídicích jednotek
- rozměrové zkoušky
  - měření na souřadnicových měřicích strojích
  - měření na optických měřicích strojích
  - měření ručními měřidly

### 2.4.1 Vybavení měřicí technikou na oddělení MTZ

Měřicí technici oddělení MTZ disponují poměrně rozsáhlou škálou měřidel, ať už se jedná o měřidla na posuvném principu, na principu mikrometrického šroubu, číselníkových úchylkoměrů, různých kalibrů, koncových měrek, úhelníků až po souřadnicové měřicí stroje nebo optické měřicí stroje. Zaměstnanci měrového střediska pracují v klimatizovaných laboratořích pro zajištění teplotní stability. Tyto pracoviště jsou izolována od výrobních prostorů z důvodů nebezpečí výskytu vibrací, prachu, či nadměrného hluku.

### 2.4.2 Měřicí zařízení pro rozměrovou kontrolu

- měřicí mikroskop Leitz UMW
- portálový měřicí stroj Zeiss Contura G2
- portálový měřicí stroj Zeiss Prismo 7 VAST
- skenovací měřicí stroj Atos II
- optický měřicí přístroj Tritop



a)



b)



c)

**Obr. 2.4** - Měřicí systémy na oddělení MTZ

(a – mikroskop Leitz UMW, b – optický přístroj Tritop, c - portálový stroj Zeiss Prismo 7)

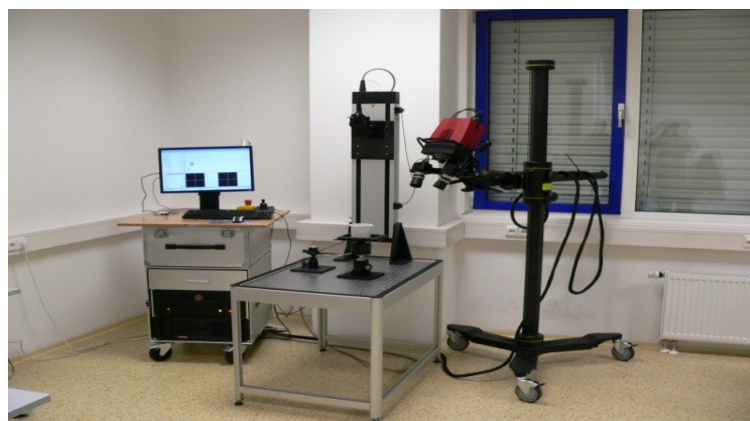


### **3 Představení měřících zařízení Atos II a Prismo 7**

#### **3.1 Optický digitální skener Atos II**

##### **3.1.1 Představení systému Atos II**

Jedná se o mobilní bezdotkový optický 3D skener německé firmy GOM určený pro nejrůznější aplikace. Pomocí optických zobrazovacích rovnic jsou z nich automaticky vypočítány přesné 3D souřadnice jako mrak bodu, který může obsahovat až 4 miliony bodů z jednoho záběru. Jeho vysoká výkonnost, velké rozlišení a široká flexibilita měřících objemů umožňující přesnou a efektivní kontrolu kvality výroby, ukládání optimalizovaných dat z design aplikací, skenování poškozených tvarových vložek a celých sestav lisovacích nástrojů a vstřikovacích forem. Nejširší využití systému ATOS je v oblastech CAD a CAM, kde je vyžadováno měření reálných objektů a jejich následné srovnání s teoretickým modelem. [11]



**Obr.3.1 - Systém Atos II na oddělení MTZ**

##### **3.1.2 Popis principu měření**

Proces měření je založen na principech optické triangulace, fotogrammetrii a metody Fringe Projection. Na povrch objektu jsou promítány pruhy světla, které jsou snímány pomocí dvou kamer s CCD čipem. Software z těchto záběrů vypočítá prostorové souřadnice jednotlivých bodů. Automatické složení jednotlivých záběrů do jednoho celku je zajištěno referenčními značkami nebo metodou Best fit na skenovaný tvar. Za účelem naskenování celého objektu lze pohybovat skenerem i měřeným objektem. [11]

### 3.1.3 Přednosti použití systému Atos II

- měření téměř všech objektů, bez omezení hmotnosti a velikosti,
- měření horkých dílů,
- měření měkkých dílů,
- měření při vysokém rozlišení (až 66 bodů na 1 mm),
- po zmatnění povrchu lze měřit průhledné a lesklé materiály,
- mobilita zařízení,
- rychlost a hustota získaných dat,
- jednoduchá ovladatelnost.

### 3.1.4 Základní rozdělení systému Atos

**Atos I** - je určený pro základní aplikace. Je založen na projekci bílého světla a dodává se ve dvou variantách.

**Atos II Triple Scan** - je průmyslový optický 3D skener. Má oproti systému ATOS I vyšší rozlišení, přesnější projekční jednotku s modrým světlem, laserové odměřování vzdálenosti skeneru od objektu a robustnější design.

**Atos III Triple Scan** - je průmyslový optický 3D skener s nejvyšším rozlišením CCD. Je určen pro nejnáročnější aplikace, jako je měření velkých dílů s malými detaily na povrchu.

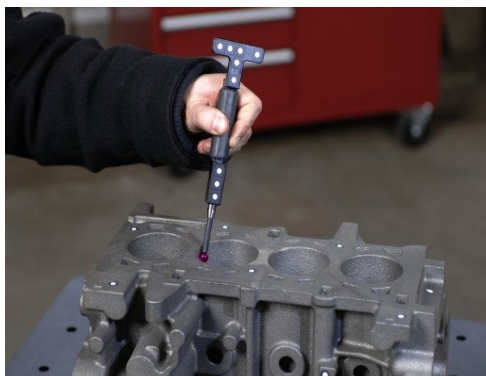
**Atos SO** - je systém pro měření malých dílů. Existuje v provedení se skenery.

**Atos XL** - je kombinace systému ATOS se systémem TRITOP. Hlavním přínosem kombinace těchto dvou systémů je zvýšení celkové přesnosti měření a realizace složitějších úloh. Prakticky neomezená velikost měřeného objektu. [11]

### 3.1.5 Příslušenství měřicího systému Atos II

Všechny měřicí systémy ATOS mohou být doplněny o softwarově ovládaný rotační stůl, což je vhodné pro opakovaná měření stejných dílů. V případě požadavku plné automatizace měření existuje možnost připojit ke skeneru průmyslový robot. K měření dutin vyvinula firma

GOM tzv. „touch probe“ – dotykovou sondu, která je opatřena referenčními body. Poloha bodu doteku je zaznamenána pomocí viditelných referenčních bodů na držáku sondy. [11]



a)



b)

**Obr. 3.2 - Příslušenství systému ATOS II [11]**

(a – dotyková sonda pro měření dutin, b – průmyslový robot)

### 3.1.6 Aplikace systému Atos II v praxi

Největší rozsah použití našly optické skenery od počátku v metodách Reverse Engineering. Tyto metody zajišťují získání konstrukčních dat z hotového dílu. Prudký nárůst hardwarového výkonu počítačů v uplynulých deseti letech přinesl do celé CAD branže netušené možnosti zpracování množství dat v krátkém čase. V případě optického skenování to znamenalo nejen podstatný nárůst rychlosti a komfortu práce se skenerem, ale především zvýšení rozlišení (počtu bodů). Z toho vyplývá i vyšší výsledná přesnost skenování, protože na tutéž jednotku délky připadá více snímaných bodů. Optická metoda proto mohla začít být využívána v kontrole výroby, a to jak kusové, tak i plně automatizované. [11]

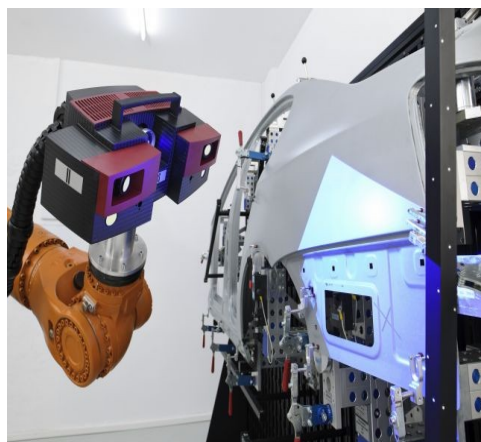
Doménou optického skenování ve výrobní kontrole se stala kontrola odlitku (dílu motoru) a plechových výlisků (dveří automobilu). Hranice velikosti snímaného tělesa nejsou stanoveny technickým omezením, v kombinaci s fotogrametrickým systémem TRITOP lze skenery ATOS běžně snímat tělesa velikosti osobního automobilu, největší provedení ATOS III se využívá ke kontrole letadel. [11]

Samostatnou kapitolu tvoří využití optických skenerů v průmyslovém designu a počítačovém sochařství v kombinaci s metodami Rapid Prototyping nebo CAM systémy.

Ručně vyrobený návrh modelu se sejme skenerem, provedou se úpravy CAD dat a díl se vytiskne na 3D tiskárně, po jeho praktickém vyzkoušení a případné korekci dat máme ověřená CAD data připravena pro výrobu. Při vývoji nových designů automobilů se často postupuje tak, že se podle koncepční studie nejprve vyrobí jeho zmenšený model. Tento model se sejme optickým skenerem, a pomocí CAD/CAM systému se vyrobí hotový kus prototypu v měřítku 1:1. Metody se využívá i v archivaci dat historických předmětů, soch, reliéfu apod. [11]

Vedle zmíněných oblastí hrají v současné době optické skenery ve výrobních firmách nezastupitelnou roli v získávání a uchování databáze 3D dat výrobku (metody Digital Mockup Unit a 3D archiving). Všechny systémy ATOS jsou certifikovány podle směrnic VDI/VDE 2634 (Optické měřicí systémy založené na skenování). [11]

Vývoj posledních let dostatečně ukázal přednosti optických metod. Postup měření byl zjednodušen, urychlen a možnosti práce se získanými daty podstatně rozšířeny, to vše ruku v ruce se zvyšováním přesnosti měření. Lze očekávat, že tento trend bude pokračovat i do budoucna.



a)



b)

**Obr. 3.3** - Systémy Atos II v praxi [11]

(a – měření karoserie systémem Atos Triple Scan, b – měření malých dílů systémem Atos SO)

## 3.2 Souřadnicový měřicí stroj Prismo 7

### 3.2.1 Představení měřicího stroje Prismo 7

Portálový měřicí stroj Prismo 7 je produktem německé společnosti Carl Zeiss. Vyznačuje se svojí vysokou přesností, dynamikou a výbornou odolností vůči okolním podmínkám. Měřicí stroj Prismo 7 umožňuje špičkové výkony pro rychlé a zároveň velmi přesné měření komplikovaných měřicích úloh, a tím zvyšuje produktivitu měření. Všechny jeho výrobní komponenty podporují maximální přesnost při vysokorychlostním skenování. Stroj Prismo 7 se skládá ze dvou hlavních částí, a to z granitové desky, která slouží jako vedení portálu a zároveň slouží k umístění měřených součástí a z portálu, který nese pinolu na jejímž konci je měřicí hlava. Z důvodu bezkontaktního pohybu portálu po granitové desce se všechny osy pohybují na vzduchových ložiskách. Pohon všech os je realizován pomocí stejnosměrných elektromotorů. [14]

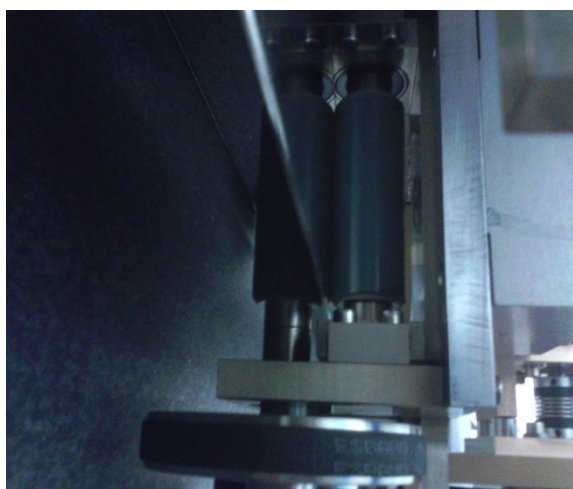


**Obr. 3.4** - Portálový měřicí stroj Prismo 7



### 3.2.2 Popis principu měření

Pohony jednotlivých os jsou zajištěny stejnosměrnými motory s tachogenerátorem, který je zapojen přes zápornou zpětnou vazbu, ta slouží k regulaci rychlosti pojezdu. Tyto motory pohánějí dva proti sobě uložené válce, které jsou přitlačené na kovový list, po kterém se valí. List je na obou koncích pevně uchycen ke stroji. Pro účely přesného odměřování polohy je každá osa vybavena speciálním pravítkem a čtecí hlavou. Odměřování funguje na principu odraženého světla a využívá zákonů optiky. Stroj Prismo 7 má z důvodu nízké tepelné roztažnosti pravítka zerodurová. Pravítko je opatřeno stupnicí, která je tak jemná, že není viditelná pouhým okem.



a)



b)

**Obr. 3.5 - Princip měření na stroji Prismo 7**

(a – pohon osy Y, b – zerodurové pravítko)

### 3.2.3 Kalibrace snímacích systémů

Do měřících hlav se umísťují talířky osazené snímači různých délek a provedení. Každý snímač se skládá z dřívku a rubínové kuličky. Velikost kuliček se pohybuje od 1 mm do 8 mm. Dřívky jsou kovové nebo keramické a mají vždy menší průměr než kulička.

Snímače se kalibrují za účelem zjištění jejich rozměrových a pevnostních charakteristik. Rozměrové charakteristiky se určují jako poloha středu snímací kuličky vzhledem k referenčnímu snímači a poloměr této kuličky. Pevnostní charakteristikou je pevnostní tenzor, který obsahuje informace potřebné pro výpočet průhybů snímače v jednotlivých osách. Ke kalibraci se používá kalibrační normál a referenční snímač. Kalibrační normál je velmi přesná

keramická koule o známém průměru s minimální tvarovou odchylkou. Referenční snímač je speciální snímač, který je složen z dřívku a rubínové kuličky o přesných parametrech. Tímto snímačem zaměříme kalibrační kouli, tím se načte její okamžitá poloha pro kalibrování ostatních snímačů. Při kalibrování snímací konfigurace se po dokončení kalibrace na obrazovce počítače zobrazí hodnoty naměřených rozptylů jednotlivých snímačů.



a)



b)

**Obr. 3.6 - Snímače a jejich kalibrace**

(a – kalibrační normál s referenčním snímačem, b – snímací konfigurace)

### 3.2.4 Softwarové vybavení souřadnicového měřicího stroje Prismo 7

- **Calypso** - je standardní software pro všechny pravidelné geometrické tvary s integrovaným CAD interpretem.
- **Calypso Planner** - umožňuje generovat průběh měření přímo z dat CAD modelu. Takto vytvořený plán měření lze bez problému exportovat do formátu DMIS, s opcí CALYPSO Planner se mohou tedy vytvářet programy měření také offline mimo měřicí stroj.
- **Calypso Simulation** – umožňuje simulovat měření a ukázat případné kolize snímače s měřenou součástí. Tím virtuálně optimalizuje průběh měření a sníží na minimum chyby programování.
- **Holos NT** – umožňuje vytvořit z každé prověřované součásti kompletní CAD datovou větu. Věta může mít výstup ve všech běžných formátech a umožňuje rychle a velice přesně generovat data během vypracování návrhu. [16]

### **3.2.5 Aplikace souřadnicových měřících strojů v praxi**


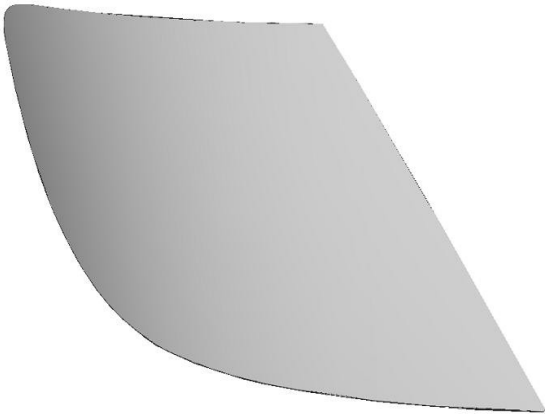
Souřadnicové měřící stroje jsou především určeny pro prostorovou kontrolu geometrických prvků povrchů na součástkách. Uplatnění nachází při vstupní kontrole, občasné nebo stálé mezioperační kontrole a při stoprocentní kontrole. Kladný přínos souřadnicových měřících strojů se projevuje jak v kusové, malosériové, tak i v sériové výrobě a jejich význam narůstá se stupňující se přesností a složitostí kontrolovaných součástí. Nejvíce nasazované jsou v automobilovém průmyslu.



## 4 Návrh nového řešení

Návrh nového řešení měření bude aplikován na určité díly, které zaujímají nemalé procento z výrobního programu společnosti Hella Autotechnik s.r.o. Názvy a označení dílů jsou uvedeny v tabulce 4.1.

**Tab.4.1** – Měřené díly

<b>Reflektor H7 191.887 - 01</b>	<b>Krycí sklo 187.036 - 02</b>
	

### 4.1 Parametry definující základní kritéria pro následné porovnání

1. Rychlost přípravy měření
2. Rychlost samotného měření
3. Rychlost měření referenčního vzorku
4. Přesnost měření
5. Variabilita měření

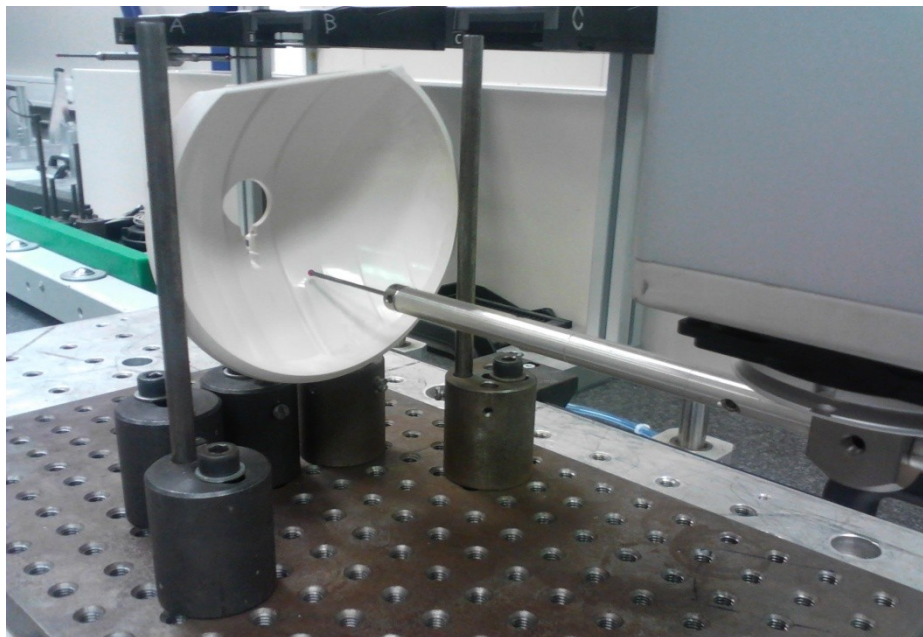
### 4.2 Současné měření dílů na SMS Prismo 7

Všechny díly před uvolněním do výroby procházejí rozměrovou kontrolou na souřadnicovém měřicím stroji Prismo 7. Některé díly musí být během měření několikrát ustavovány, aby se měřicí sonda dostala na požadované snímané body. V jiných případech naprogramování měřicího programu, který obsahuje kolem 250 měřicích bodů, zabere měřicím technikům skoro půl pracovní směny. Měření na tomto stroji jsou kvůli čím dál složitějším tvarům jednotlivých dílů časově náročnější.

#### 4.2.1 Příprava měření reflektoru H7 č. d. 191.887 - 01

Před ustavením a měřením reflektoru H7 č. d. 191.887 – 01 se musíme nejprve přesvědčit, zda je díl dokonale čistý a nepoškozený.

Následně je díl ustaven nejlépe měřenou plochou k obsluze, aby měřící technik kontroloval správné najíždění snímacího doteku. Pomocí upínacích přípravků se reflektor zajistí proti nežádoucímu pohybu (obr. 4.1).



**Obr. 4.1** - Upnutí měřeného reflektoru

Po ustavení dílu přichází na řadu vytvoření měřicího programu. Měřicí program je vytvořen v softwaru Holos NT, jedná se o software, který poskytuje snadné a pohodlné funkce pro měření volných tvarových ploch a pravidelných geometrických elementů. Je možné vyhodnocovat kontroly úchylek tvaru a polohy od CAD modelů (viz. Příloha č. 1). CAD modely jsou získávány od konstruktérů, kteří pomocí převodníku v softwaru Catia V5 převedou model do požadovaného formátu VDA nebo IGES. Po načtení tohoto CAD modelu musí měřící technik určit polohu měřících bodů, přidá příslušné technologické parametry, nadefinuje snímače, polohu snímačů, bezpečnostní roviny, pojezdové dráhy, parametry hlavičky protokolu a toleranční meze. Dále má technik možnost nadefinování výstupního formátu mezi numerickým protokolem nebo grafickým protokolem. Program Holos NT využívá některých funkcí měřicího programu Calypso, proto musí být při měření zapnuty oba programy najednou.

#### 4.2.2 Samotné měření reflektoru H7 č. d. 191.887 - 01

U reflektoru H7 č. d. 191.887-01 je použito vyrovnaní pomocí matematického ustavení Best – fit registrace. Pomocí této metody se provede připisování definovaných měřících bodů součásti na základě jejich naměřených hodnot. Součást je přitom početně natáčena a posouvána tak dlouho, až je odstup změřeného bodu od plochy tak malý, že je součet kvadratických odchylek minimální. Z tohoto důvodu musí operátor několikrát po sobě opakovat měření všech bodů a tím se nám prodlužuje doba měření.

#### 4.2.3 Měření referenčních vzorků reflektoru H7 č. d. 191.887 – 01

Při měření referenčního vzorku pro uvolnění výroby si nejdříve musíme vyrobit přípravek, do kterého budeme reflektor upínat. Po upnutí, musíme manuálně nasnímat předem nadefinované body určující polohu dílu na pracovní ploše souřadnicového stroje. Následně můžeme spustit měření.

#### 4.2.4 Příprava měření krycího skla č. d. 187.036 - 02

Při ustavování tohoto dílu musí obsluha stroje pracovat velmi opatrně, aby nedošlo k jeho poškození a k následnému poranění. Díl měřící technik ustaví čelní plochou krycího skla vzhůru tak, aby snímací dotek dokázal změřit i body definované po obvodu skla a nehrozilo sejmutí bodu dřívkem. Pomocí upínacích přípravků krycí sklo zajistíme proti nežádoucímu pohybu. Upínací přípravky musí měřící technik umisťovat na taková místa, kde nehrozí zakrytí měřícího bodu na obvodě skla (obr. 4.2).



**Obr. 4.2** - Ustavení měřeného krycího skla

Po ustavení dílu přichází na řadu vytvoření měřicího programu. Měřicí program je vytvořen v softwaru Calypso 5.0. Tento software se vyznačuje jednoduchým a intuitivním programováním, které implicitně využívá správných metod výpočtu pro vyhodnocení rozměrů, úchylek tvaru a polohy. Tím se zabrání chybám, které se dají jen obtížně najít. S tímto softwarem, zvládne operátor různé úlohy a strategie měření jako: snímání jednotlivých bodů i scannování, manuální měření i CNC průběh, programování na souřadnicovém měřicím stroji i offline mimo stroj, měření pravidelných geometrických tvarů i obecných tvarových ploch. Tak je tomu i při aplikaci požadavku maxima a minima materiálu pro tolerance tvaru a polohy. Calypso 5.0 podporuje uživatele při doplnění chybějících vyhodnocení rozměrů prvků. Také umožňuje výstup protokolu ve formátu QDas a DMIS, takže je možné přesně sledovat sériová měření. Součástí verze 5.0 je i možnost vytvoření grafického protokolu měřicím technikem. (viz. Příloha č. 3)

#### **4.2.5 Samotné měření krycího skla č. d. 187.036 - 02**

U krycího skla č. d. 187.036 – 02 je použito měření pomocí matematického ustavení RPS registrace. Ustavení metodou RPS funguje podle pravidla 3 – 2 – 1. To znamená, že jedna souřadnice (např. X) je na díle zachycena třikrát, druhá souřadnice (např. Y) je zachycena dvakrát a třetí souřadnice (např. Z) je zachycena jedenkrát. Oproti jiným metodám vychází toto vyrovnaní z bodů, které jsou předepsány na výkresu součásti. Vyrovnaní tedy podléhá přesným předpisům a nelze ho volit zcela volně. Tím se dosáhne možnosti porovnávat různé výsledky měření na stejné součásti, protože měření vycházejí ze stejného souřadného systému. Vyrovnaní RPS bodů se provádí v softwaru Calypso 5.0 pomocí programové smyčky. V praxi to znamená, že obsluha stroje zadá do této smyčky podmínku přesnosti a měřicí systém provádí vyrovnaní tak dlouho, až je součet kvadratických odchylek mezi jmenovitými a skutečně naměřenými body v požadované podmínce. Po splnění této podmínky dochází k doměření ostatních nadefinovaných bodů.

#### **4.2.6 Měření referenčních vzorků krycího skla č. d. 187.036 - 02**

Při měření referenčního vzorku pro uvolnění výroby si nejdříve musíme vyrobít přípravek, do kterého budeme krycí sklo upínat. Po upnutí, musíme manuálně nasnímat předem nadefinované body určující polohu dílu na pracovní ploše souřadnicového stroje. Následně můžeme spustit měření.

#### **4.2.7 Parametr přesnosti měření SMS Prismo 7**

Výrobce SMS Prismo 7 společnost Carl Zeiss definuje přesnost měření podle pokynu VDI / VDE 2617. Z důvodu dodržení přesnosti měření nechává oddělení MTZ překalibrovat oba své souřadnicové měřicí stroje každý rok. Tyto kalibrace provádí technik společnosti Carl Zeiss. Kalibrace jednoho měřicího stroje trvá přibližně pět dnů.

#### **4.2.8 Parametr variability měření SMS Prismo 7**

Tento parametr zahrnuje možnosti použití SMS Prismo 7. Mezi tyto možnosti patří měření složitých tvarů jednotlivých dílů, měření dílů různých materiálů a měření dílů rozdílných velikostí. Na SMS Prismo 7 se mohou měřit nejrozumnější tvary výrobků. Operátor však musí zvolit vhodné upnutí výrobku tak, aby měřený bod vždy snímal dotek a nehrozilo ovlivnění výsledků, například nechtěným opřením dřívku snímače a tím nesprávné vyhodnocení polohy měřeného bodu.

Při kontaktním měření působí snímací dotek na díl silou o velikosti 0,2 N. Z tohoto důvodu nelze zaručit objektivní měření poddajných materiálů, jako jsou plechové či plastové výlisky. Na SMS Prismo 7, které patří oddělení MTZ, se mohou měřit výrobky o rozměrech, které jsou omezeny měřicím rozsahem stroje 900 mm × 1500 mm × 650 mm, a jejich hmotnost nepřesahuje 1500 kg.

### 4.3 Návrh nového měření dílů optickým zařízením Atos II

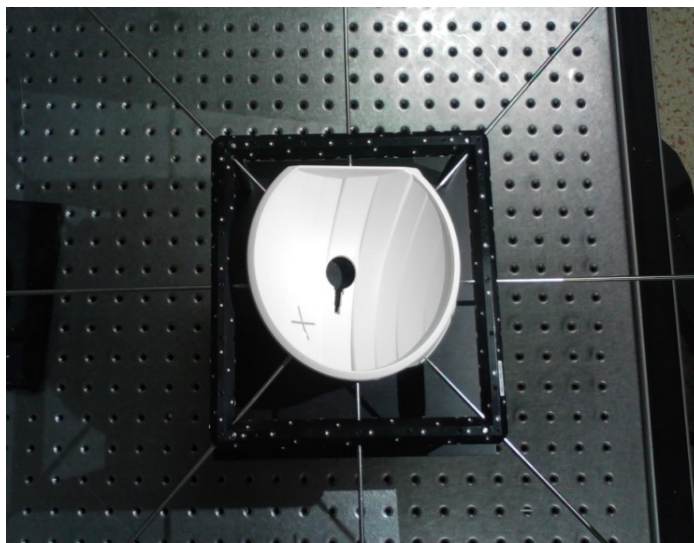
Při návrhu nového měřicího zařízení jsem vycházel z komplikovanosti a časové náročnosti tvorby měřících programů, samotného měření a vyhodnocování naměřených hodnot u kontaktního způsobu měření na SMS Prismo 7. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl pro volbu bezkontaktního způsobu měření, pomocí optického skeneru Atos II.

#### 4.3.1 Příprava měření reflektoru H7 č. d. 191.887 - 01

Oproti kontaktnímu měření na SMS Prismo 7 musíme zajistit, aby díl neobsahoval na povrchu mastnotu. Na měřené plochy nanese bílý křídový prášek ve formě aerosolu, který můžeme po měření odstranit. Tento prášek slouží ke zmatnění měřených ploch a tím zamezí nežádoucím odrazům zpět do snímače skeneru.

Objekt určený ke skenování musíme pevně umístit ke kalibrovanému rámu pomocí diagonálních čepů. Tyto čepy jsou zajištěny proti posunutí šrouby. Kalibrovaný rám je vybaven velkým množstvím referenčních bodů, jejichž souřadnice XYZ jsou předem zadány do systému Atos II. Ve spojení s rotačním zařízením lze objekt bez problémů skenovat. Díky množství použitých referenčních bodů nejsou předpokládány problémy při transformaci jednotlivých měření. Na obrázku 4.3 je názorně ukázáno upnutí měřeného reflektoru H7 č.d. 191.887-01 v kalibrovaném rámu.

Příprava měřicího programu před měřením je velmi rychlá. Po otevření nového programu a nastavení několika parametrů můžeme začít rovnou skenovat.



**Obr. 4.3** - Upnutí reflektoru v kalibrovaném rámu



#### **4.3.2 Samotné měření reflektoru H7 č. d. 191.887 - 01**

Velikou výhodou měřicího systému Atos II je jeho vysoký objem nasnímaných dat. V našem případě se dají optické plochy reflektoru změřit na pouhých šest záběrů. Navíc zde odpadá opakované snímání všech bodů pro připasování, jak je tomu u kontaktního měření. V systému Atos II se o připasování stará výhradně software, jemuž určíme oblast, kterou má připasovat k CAD modelu. Pomocí podmínky přesnosti, jejíž velikost si určíme, dokáže software vypočítat minimální odchylky, které jsou na protokole vyhodnoceny pomocí barevné mapy. (viz. Příloha č. 2)

#### **4.3.3 Měření referenčních vzorků reflektoru H7 č. d. 191.887 – 01**

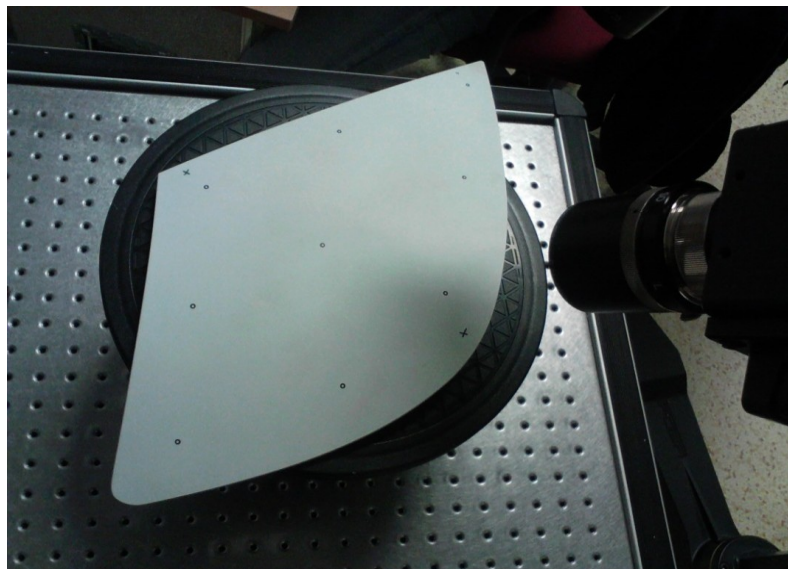
Při měření referenčních vzorků pro uvolnění výroby, postupujeme stejně jako při přípravě měřeného dílu a při samotném měření dílu. Tedy měřený díl odmastíme, nanese na něj křídovitý prášek a upneme do kalibrovaného rámu. Pak díl naskenujeme a vyhodnotíme naměřené odchylky.

#### **4.3.4 Příprava měření krycího skla č. d. 187.036 - 02**

Měřené krycí sklo musíme odmastit. Na měřené plochy nanese bílý křídový prášek ve formě aerosolu, který můžeme po měření odstranit. Po nanesení zmatňujícího prášku musíme na měřený díl nalepit referenční značky, které slouží systému Atos II k provázání jednotlivých naměřených snímků. Tyto značky jsou o průměru 5 mm a mají bílý střed s černým lemováním. O počtu nalepených značek rozhoduje složitost měřeného tvaru. Pro provázanost snímků musí snímací kamery rozpoznat alespoň tři referenční značky z předchozích naměřených snímků. Při snímání krycího skla č. d. 187.036 – 02 nám postačí pro správné proložení snímků nanést jen devět značek.

Pro určení polohy dílu u bezkontaktního způsobu měření nemusíme díl přesně orientovat do snímané polohy, řídíme se však zásadou, aby v jednom záběru skeneru bylo maximální tvarové rozložení ploch měřeného dílu. Pro jednodušší a rychlejší naskenování daného dílu lze použít otočný stůl, který je součástí příslušenství systému Atos II (obr. 4.4).

V tomto případě, kdy jsou na měřeném dílu nalepeny referenční značky, musíme zkontrolovat v uživatelském nastavení, jestli je správně zadaná hodnota odečtu tloušťky těchto značek. Následně můžeme začít skenovat.



**Obr. 4.4 - Ustavení krycího skla**

#### **4.3.5 Samotné měření krycího skla č. d. 187.036 – 02**

Skenované krycí sklo lze nasnímat na čtyři snímky. Souřadnice požadovaných RPS bodů, na které má systém vyrovnat naskenovaný objekt musíme zadat manuálně. Po zadání hodnot, připravuje software naskenovaný díl k CAD modelu v těchto referenčních bodech a vyhodnotí zbývající odchylky měřeného dílu. Tyto odchylky jsou na protokole zaznamenány pomocí barevných map. Tímto dostává zákazník ucelený obraz o rozložení a velikosti odchylek na měřeném dílu. (viz. Příloha č. 4)

#### **4.3.6 Měření referenčních vzorků krycího skla č. d. 187.036 – 02**

Při měření vzorků krycího skla musíme nejprve zkontrolovat, jestli je díl očištěn a bez mastnot. Následně na díl nanese křídovitý prášek a nalepíme referenční značky. Poté díl ustavíme na otočný stůl a můžeme skenovat.

#### **4.3.7 Parametr přesnosti měření zařízení Atos II**

V případě měřicího systému Atos II je definovaná přesnost měření společností MCAE systems s.r.o. podle pokynu VDI / VDE 2634. Kalibraci si provádí operátor sám na začátku pracovního týdne nebo při každé výměně snímacích kamer. Každá kamera se kalibruje samostatně. Celková doba kalibrace trvá asi 45 minut.



S předchozích údajů lze jednoznačně vyvodit, že kontaktní měření na SMS Prismo 7 je mnohonásobně přesnější než bezkontaktní měření v systému Atos II. Při běžném vyhodnocování kvality vyrobených dílů nám přesnost měření zařízením Atos II bohatě postačuje. Přesnější měření na SMS Prismo 7 je vykoupeno vysokými výdaji za každoroční kalibraci a z tohoto důvodu i odstavením stroje z pracovní činnosti po dobu pěti dnů. Tyto výdaje u bezkontaktního způsobu měření nejsou.

#### **4.3.8 Parametr variability měření zařízení Atos II**

Bezkontaktní měření se systémem Atos II, na rozdíl od kontaktního měření na SMS Prismo 7, umožňuje měřit poddajné a měkké materiály různých tvarů a velikostí. Není omezeno ani hmotností měřeného výrobku. Mezi velkou výhodou systému Atos II patří jeho mobilita. Tento měřicí systém se skládá ze tří hlavních částí: počítač, skenovací hlava a stojan. Všechny tyto části lze bez větších problémů převézt na jiné místo a po zprovoznění systému opět provádět měření.

V obou experimentech bylo měření uskutečňováno na dílech vyrobených z materiálů, které jsou velmi pevné. Jako první byl použit reflektor H7 č.d. 191.887-01. Tento reflektor je vyroben z duroplastu, mezi jehož přednosti patří odolnost vůči vyšším teplotám a vysoká tvrdost. To samé se dá konstatovat o druhém dílu. Krycí sklo č.d. 187.036 - 02 je vyrobeno z křemičitého skla. Zde jsou vlastnosti jako vysoká pevnost a tvrdost jasně dány.

## 5 Diskuze experimentů

V daných experimentech porovnávám zejména rychlost přípravy měření, rychlost samotného měření a rychlost měření referenčních vzorků pomocí různých způsobů vyrovnání. Ve stávajícím řešení jsou oba díly měřeny na SMS Prismo 7 kontaktním způsobem. V novém řešení je použita bezkontaktní metoda měření dílů pomocí optického zařízení Atos II.

### 5.1 Přínos systému Atos II u měření reflektoru č. d. 191.887 - 01

V prvním případě, byl reflektor č. d. 191.887 - 01 vyrovnáván pomocí matematické metody Best-fit. Zde se projevila velká časová ztráta zejména při vytváření měřicího programu na SMS Prismo 7 a to kvůli nutnosti naprogramovat vyrovnání dílu na velký počet snímaných bodů. Nevýhoda tohoto vyrovnání kontaktním způsobem se následně projevila i při rychlosti samotného měření, kde nutnost opětovného snímání a následného připisování měřících bodů v několika cyklech, mnohonásobně prodlouží dobu měření oproti bezkontaktnímu způsobu. Z tohoto důvodu, je pro oddělení MTZ časově i finančně úspornější provádět podobná měření optickým zařízením Atos II.

#### 5.1.1 Časová úspora spojená s vyhodnocením kvality dílu

Hodnocení časové úspory měření vyšlo mnohem lépe pro měřicí systém Atos II. Z tabulky 5.1 lze vyčíst, že tento měřicí systém zvládne vyhodnocení kvality dílu za 50 minut, což je oproti 206 minutám na SMS Prismo 7 asi 76 % úspora času.


**Tab. 5.1** – Časová úspora při vyhodnocení kvality dílu

Reflektor H7 č. d. 191.887-01		
	Prismo 7	Atos II
Příprava dílu [min]	1	20
Ustavení dílu [min]	20	8
Vytvoření měřicího programu [min]	150	5
Čas samotného měření [min]	35	17
<b>Celkový čas [min]</b>	<b>206</b>	<b>50</b>

### 5.1.2 Finanční úspora spojená s vyhodnocením kvality dílu

Do výpočtu úspory jsou započítány činnosti operátora jako: příprava dílu, jeho ustavení, vytvoření měřicího programu a rychlost samotného měření. Pro následné porovnání finanční úspornosti je cena za hodinu vykonané práce jak na SMS Prismo 7, tak na zařízení Atos II určena částkou 1000 Kč. Z tabulky 5.2 je patrné, že měření reflektoru č. d. 191.887 – 01 zařízením Atos II přinese celkové náklady spojené s vyhodnocením kvality dílu na 1000 Kč oproti 3400 Kč na SMS Prismo 7. Celková úspora pro oddělení MTZ tedy činí 2600 Kč.

**Tab. 5.2** – Finanční úspora spojená s vyhodnocením kvality dílu

Reflektor H7 č. d. 191.887-01			
		<b>Prismo 7</b>	<b>Atos II</b>
	Hodinová sazba [Kč / hod]	1000	1000
	Celkový čas [hod]	3,4	0,8
	<b>Celkové náklady [Kč]</b>	<b>3400</b>	<b>800</b>
	<b>Celková úspora [Kč]</b>	<b>2600</b>	

### 5.1.3 Časová úspora spojená s vyhodnocením kvality referenčního vzorku

Tímto druhem úspory pro oddělení MTZ je myšleno uvolnění prvního výpadového kusu z lisovací formy a následné série do výroby. V praxi to znamená, že měřící technik díl připraví, ustaví a v již vytvořeném programu díl změří. V tabulce 5.3 lze vidět, že celkový čas měření referenčních vzorků pro uvolnění výroby, trvá systému Atos II 45 minut, což je oproti 56 minutám SMS Prismo 7 asi 20% úspora času.


**Tab. 5.3** - Časová úspora při vyhodnocení kvality ref. dílu

Reflektor H7 č. d. 191.887-01		
	<b>Prismo 7</b>	<b>Atos II</b>
Příprava	1	20
Ustavení	20	8
Čas samotného měření [min]	35	17
<b>Celkový čas [min]</b>	<b>56</b>	<b>45</b>

#### 5.1.4 Finanční úspora spojená s vyhodnocením kvality referenčního vzorku

Systém Atos II se v tomto hodnocení ukazuje jako úspornější volba. Především je to tím, že naměřenou oblast nasnímá jen jednou. V programu Holos NT se při použití metody Best – fit musí několikrát opakovat měření všech bodů. V tabulce 5.4 jsou celkové náklady na vyhodnocení kvality referenčního vzorku vyčísleny na částku 800 Kč v systému Atos II a na částku 1000 Kč u SMS Prismo 7. Celková úspora pro oddělení MTZ tedy činí 200 Kč.

**Tab. 5.4** – Finanční úspora spojená s vyhodnocením kvality referenčního vzorku

Reflektor H7 č. d. 191.887-01			
		<b>Prismo 7</b>	<b>Atos II</b>
	Hodinová sazba [Kč / hod]	1000	1000
	Celkový čas [hod]	1	0,8
	<b>Celkové náklady [Kč]</b>	<b>1000</b>	<b>800</b>
	<b>Celková úspora [Kč]</b>	<b>200</b>	

#### 5.2 Přínos systému Atos II u měření krycího skla č. d. 187.036 - 02

V druhém experimentu, bylo krycí sklo č. d. 187.036 - 02 vyrovnáváno pomocí matematické metody RPS. Kontaktním způsobem měření, musí měřicí stroj opakovaně najíždět na souřadnice RPS bodů, dokud nesplní měřicím technikem určenou podmínku přesnosti, pak teprve dochází k doměření ostatních nadefinovaných bodů. Počet vyrovnávacích cyklů a přísnost podmínky přesnosti navyšuje výsledný čas samotného měření. Stejně jako u předchozího případu se projevila časová ztráta při vytváření měřicího programu na SMS Prismo 7. Tato ztráta by nebyla oproti předchozímu příkladu, kde bylo použito ustavení metodou Best – Fit tak markantní, ale nemožnost softwaru Calypso 5.0 vyhodnocení náměru grafickým protokolem a tím nutnost měřicího technika tento protokol vytvořit, časovou ztrátu opět navyšuje. Nejen z tohoto důvodu, je pro oddělení MTZ časově i finančně úspornější provádět podobná měření dílů s tímto matematickým vyrovnáním a požadovaným grafickým protokolem v systému Atos II.

### 5.2.1 Časová úspora spojená s vyhodnocením kvality dílu

V hodnocení časové úspory spojené s vyhodnocením dílu, hrál významnou roli požadavek ze strany zákazníka na výstup měřicího protokolu v grafickém formátu. Tento výstupní formát v softwaru Calypso 5.0 musí měřící technik dodatečně vytvořit a tím vznikne nemalá časová ztráta. I z tohoto důvodu lze vidět v tabulce 5.5 že, systém Atos II s 44 minutami na přípravu měření oproti 211 minutám v softwaru Calypso 5.0 na SMS Prismo 7 uspoří 79% času.

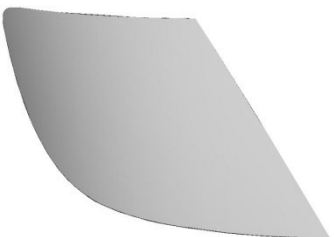
**Tab. 5.5** - Časová úspora při vyhodnocování kvality dílu

Krycí sklo č. d. 187.036 -02		
	Prismo 7	Atos II
Příprava dílu [min]	1	20
Ustavení dílu [min]	20	2
Vytvoření měřicího programu [min]	160	5
Čas samotného měření [min]	30	17
<b>Celkový čas [min]</b>	<b>211</b>	<b>44</b>

### 5.2.2 Finanční úspora spojená s vyhodnocením kvality dílu

Do výpočtu finanční úspory jsou i v tomto případě započítány činnosti operátora jako: příprava dílu, jeho ustavení, vytvoření měřicího programu, rychlost samotného měření a u kontaktního způsobu měření nutnost vytvoření grafického protokolu. Z tabulky 5.6 je patrné, že měření krycího skla č. d. 187.036 – 02 zařízením Atos II přinese celkové náklady spojené s vyhodnocením kvality 700 Kč oproti 3500 Kč na SMS Prismo 7. Celková úspora pro oddělení MTZ tedy činí 2800 Kč.

**Tab. 5.6** - Finanční úspora spojená s vyhodnocením kvality dílu

Krycí sklo č. d. 187.036-02			
		<b>Prismo 7</b>	<b>Atos II</b>
	Hodinová sazba [Kč / hod]	1000	1000
	Celkový čas [hod]	3,5	0,7
	<b>Celkové náklady [Kč]</b>	<b>3500</b>	<b>700</b>
	<b>Celková úspora [Kč]</b>	<b>2800</b>	

### 5.2.3 Časová úspora spojená s vyhodnocením kvality referenčního vzorku

Měřicí systém Atos II se i zde ukazuje jako úspornější volba. Díky své schopnosti softwarově vyrovnat na požadované RPS body, zde odpadá opakované najíždění na tyto referenční body jako je tomu u kontaktního měření na SMS Prismo 7, kde stroj opakuje měření vyrovnávacích bodů tak dlouho, dokud není splněna předem definovaná podmínka přesnosti. V tabulce 5.7 lze opět vidět, že celkový čas měření referenčních vzorků pro uvolnění výroby, trvá systému Atos II 39 minut, což je oproti 51 minutám SMS Prismo 7 asi 24% úspora času.

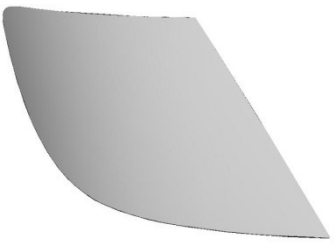
**Tab. 5.7** - Časová úspora při vyhodnocení kvality ref. dílu

Krycí sklo č. d. 187.036-02		
	Prismo 7	Atos II
Příprava	1	20
Ustavení	20	2
Čas samotného měření [min]	30	17
<b>Celkový čas [min]</b>	<b>51</b>	<b>39</b>

### 5.2.4 Finanční úspora spojená s vyhodnocením kvality referenčního vzorku

Jako v prvním případě je tímto druhem úspory pro oddělení MTZ myšleno uvolnění prvního výpadového kusu a následné série do výroby. V praxi to znamená, že měřicí technik díl připraví, ustaví a v již vytvořeném programu díl změří. V tabulce 5.8 jsou celkové náklady na vyhodnocení kvality referenčního vzorku vyčísleny částkou 700 Kč v systému Atos II a částkou 900 Kč u SMS Prismo 7. Celková úspora pro oddělení MTZ činí 200 Kč.

**Tab. 5.8** - Finanční úspora spojená s vyhodnocením kvality referenčního vzorku

Krycí sklo č.d. 187.036-02			
		<b>Prismo 7</b>	<b>Atos II</b>
	Hodinová sazba [Kč / hod]	1000	1000
	Celkový čas [hod]	0,9	0,7
	<b>Celkové náklady [Kč]</b>	<b>900</b>	<b>700</b>
	<b>Celková úspora [Kč]</b>	<b>200</b>	

## 6 Technicko - ekonomické zhodnocení

### 6.1 Technické zhodnocení

Systém Atos II rozšířil možnosti řešení čím dál více složitějších nároků na měření tam, kde použití dotykového způsobu bylo téměř nemožné. Omezenost souřadnicových strojů ať už jejich měřicím rozsahem, či nemožností mobility byla systémem Atos II odstraněna. Tento systém umožňuje měřicím technikům zpětně využívat již nasnímané data pro různé způsoby matematického vyrovnání, tím odpadá neustálé nové přeměřování dílů, jako je tomu u kontaktního způsobu měření. Vytvoření STL souboru z naskenovaných snímků, umožňuje v systému Atos II rychlé porovnání s výchozí CAD geometrií a tím urychluje odladění lisovacích nástrojů. V oblasti vyhodnocování naměřených výsledků je systém Atos II doplněn o program Atos Viewer, pomocí kterého si uživatel může definovat různé způsoby ustavení a vyhodnocení.

### 6.2 Ekonomické zhodnocení

Po pořízení systému Atos II na oddělení MTZ bylo zřejmé, že měření na souřadnicových měřicích strojích bylo velice nákladné jak časově, tak i finančně. Ve společnosti Hella Autotechnik s. r. o. se ročně navrhne a vyrobí několik stovek nových dílů pro celý koncern. Všechny prvotně vyrobené díly musí projít rozměrovou kontrolou, navíc do tohoto cyklu vstupuje periodické měření referenčních vzorků. S takovou četností rozměrových kontrol a při úvaze jednosměnného pracovního provozu, předpokládám návratnost investice do zařízení Atos II, která činila 2 650 000 Kč, 5 až 6 let. Z tabulky 6.1 je patrné, že roční úspora měřicího zařízení Atos II, je v rámci několika podobných projektů denně, jako je měření reflektoru č. d. 191.887-01 metodou Best – fit, přibližně půl milionu korun.

**Tab. 6.1** - Finanční úspora systému Atos II

Reflektor H7 č.d. 191.887-01						
Měřicí zařízení	Doba prac.směny (hod)	Doba měření 1 ks (hod)	Počet naměřených ks/směnu	Náklady na měření (Kč/hod)	Finanční úspora zařízení Atos II	
					Úspora na 1 den (Kč)	Úspora na 1 rok v Kč (prac.fond 245 dnů)
<b>Prismo 7</b>	7,5	1	7	1000	2 000	<b>490 000</b>
<b>Atos II</b>	7,5	0,8	9	1000		

## **Závěr**

Tato bakalářská práce se zabývá snížením času při měření různých dílů bezkontaktním způsobem a tedy celkově snížení nákladů na vyhodnocení kvality ve společnosti Hella Autotechnik s. r. o.

V úvodu moji práce jsem připomněl historii společnosti Hella Mohelnice až po její současný stav. Uvedl jsem zde hlavní rozdělení vývojového a výrobního úseku této společnosti. Následně jsem se snažil popsat obecnou problematiku měření složitých součástí a vývoj měřicí techniky. Také jsem představil oddělení MTZ, jeho hlavní rozdělení a vybavení měřicí technikou.

V následující kapitole jsem popsal princip kontaktního a bezkontaktního způsobu měření. Dále jsem uvedl jednotlivé zástupce těchto druhů měření. V prvním případě se jednalo o optický digitální skener Atos II. Zde jsem představil princip měření, přednosti a základní rozdělení tohoto systému. V druhém případě jsem uvedl princip měření, rozdělení softwaru a možnosti aplikace souřadnicového měřicího stroje Prismo 7.

V praktické části jsem se zaměřil na porovnání rychlosti měření kontaktním a bezkontaktním způsobem na dvou různých dílech. Každý z těchto dílů byl jinak matematicky vyrovnán a vyžadoval odlišné nároky na upnutí. Ze zjištěných časů rychlosti měření jsem následovně určil časovou a finanční úsporu získanou měřicím zařízením Atos II.

V závěrečné části byl v technickém zhodnocení uveden přínos optického měřicího zařízení Atos II pro oddělení MTZ. V ekonomickém zhodnocení bylo prokázáno, že návratnost investice do měřicího zařízení Atos II je okolo pěti až šesti let.

Na základě zjištěných výsledků v této bakalářské práci je společnosti Hella Autotechnik s.r.o. doporučen nákup optického měřicího zařízení Atos II.



## Seznam použité literatury

### A) Odborná literatura

- [1] BALÁŽ, Teodor; ŘEHOŘ, Zdeněk. *Optické přístroje LSOZ: studijní odborná publikace*. 1. vydání Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. 98s. ISBN 978-80-248-1806-1.
- [2] ČECH, Jaroslav; PERNIKÁŘ, Jiří; PODANÝ, Kamil. *Strojírenská metrologie I: studijní odborná publikace*. 5. vydání Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. 188 s. ISBN 978-80-214-4010-4.
- [3] KADERÁBEK, Petr. *Automatizované měřicí systémy: studijní odborná publikace*: 1. vydání Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, 2003. 108s. ISBN: 80-7044-530-0.
- [4] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie část I: studijní odborná publikace*: 1. vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. 110 s. ISBN: 80-248-0671-1.

### B) Internetové zdroje

- [5] Hella Autotechnik, s. r. o. CZ [online]. Internetové stránky firmy [cit. 2. 2. 2012]. Dostupné na internetu: < [www.hella.com](http://www.hella.com) >.
- [6] Hella Autotechnik, s. r. o. DE [online]. Internetové stránky firmy [cit. 2. 2. 2012]. Dostupné na internetu: < <http://www.hella.com/hella-com/739.html?rdeLocaleAttr=de> >.
- [7] MM Průmyslové spektrum [online]. Směry v provozní strojírenské metrologii, červen 2004 [cit. 12. 2. 2012]. Dostupné na internetu: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/smery-v-provozni-strojirenske-metrologii.html> >.
- [8] MM Průmyslové spektrum [online]. Pokrok v měření a hodnocení struktury povrchu, červen 2004 [cit. 12. 2. 2012]. Dostupné na internetu: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/pokrok-v-mereni-a-hodnoceni-struktury-povrchu-2.html> >.
- [9] MM Průmyslové spektrum [online]. Dotykové, nebo bezdotykové měření struktury povrchu, červen 2005 [cit. 25. 2. 2012]. Dostupné na internetu: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/dotykové-nebo-bezdotykové-měření-struktury-povrchu.html> >.

- [10] MM Průmyslové spektrum [online]. Bezdotykové měření a vizuální kontrola kvality, září 2001 [cit. 1. 3. 2012]. Dostupné na internetu: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/bezdotykove-mereni-a-vizualni-kontrola-kvality.html>>.
- [11] MCAE, 3D digitální technologie [online]. Atos, [cit. 4. 3. 2012]. Dostupné na internetu: <<http://www.mcae.cz/atos>>.
- [12] Neovision, Industrial Vision Systém [online]. Měření se zadním osvětlením [cit. 15. 3. 2012]. Dostupné na internetu: <<http://www.neovision.cz/cz/about/sheets/opas.pdf>>.
- [13] PETRUŽELKA, J. *Ročníkový projekt. Jak psát bakalářskou práci* [online]. Ostrava: VŠB - TUO, FS, říjen 2006 [cit. 10. 4. 2007]. Dostupný na internetu: <<http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Jak%20psat.pdf>>.
- [14] Zeiss [online]. Internetové stránky firmy [cit. 12. 3. 2012]. Dostupné na internetu: <<http://www.zeiss.cz/imt>>.

### **C) Jiné zdroje**

- [15] Podniková literatura (Manuál od firmy MCAE)
- [16] Podniková literatura (Manuál od firmy Zeiss)

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1: Měřicí protokol dílu: Reflektor H7 č. d. 191.887-01, v programu Holos NT

Příloha č. 2: Měřicí protokol dílu: Reflektor H7 č. d. 191.887-01, v programu Atos II

Příloha č. 3: Měřicí protokol dílu: Krycí sklo č. d. 187.036-02, v programu Calypso 5.0

Příloha č. 4: Měřicí protokol dílu: Krycí sklo č. d. 187.036-02, v programu Atos II

